

Récepteur radio AM*

Visite guidée d'un récepteur super-hétérodyne

par J.-C. FROMONT, J.-Y. GANCEL, P. HALLIER et J.-P. LEMEURE
Centre de Ressources de l'Académie de Paris
Lycée Jacquard - 2, rue Bouret - 75019 Paris

RÉSUMÉ

Pour recevoir un signal radio AM, il est possible d'utiliser un démodulateur à diode élémentaire pourvu que l'on dispose d'un circuit accordé et d'une amplification correspondant au haut-parleur choisi.

Cependant les récepteurs du commerce sont basés sur le système super-hétérodyne qu'il est possible d'analyser à l'aide d'un oscilloscope et de quelques cordons.

RÉALISATION D'UN RÉCEPTEUR AM ÉLÉMENTAIRE

On obtient des performances «honorables» avec le montage suivant inspiré de R. MOREAU, B.U.P. n° 617 (cf. Annexe 3).

Schéma du montage : (page ci-après)

- A est une antenne constituée d'un simple fil (1,5 à 2,5 m).
- Le circuit accordé sur la fréquence porteuse ($\Omega = 2 \pi F$) est constitué typiquement (voir annexe 3) de :
 - L_0 inductance d'une bobine de fil fin (environ 100 tours) bobiné sur un noyau de ferrite récupéré sur un vieil appareil hors service,
 - C8 capacité à air réglable récupérée (quelques centaines de pF).
- D est une diode de détection.
Elle sera choisie de préférence au Germanium (dont la tension seuil est inférieure à celle du Silicium).
Exemple :
 - OA70, **OA90**,

* N.D.L.R. : Les trois annexes reprennent des extraits de publications antérieures jugées significatives. Voir aussi la bibliographie.

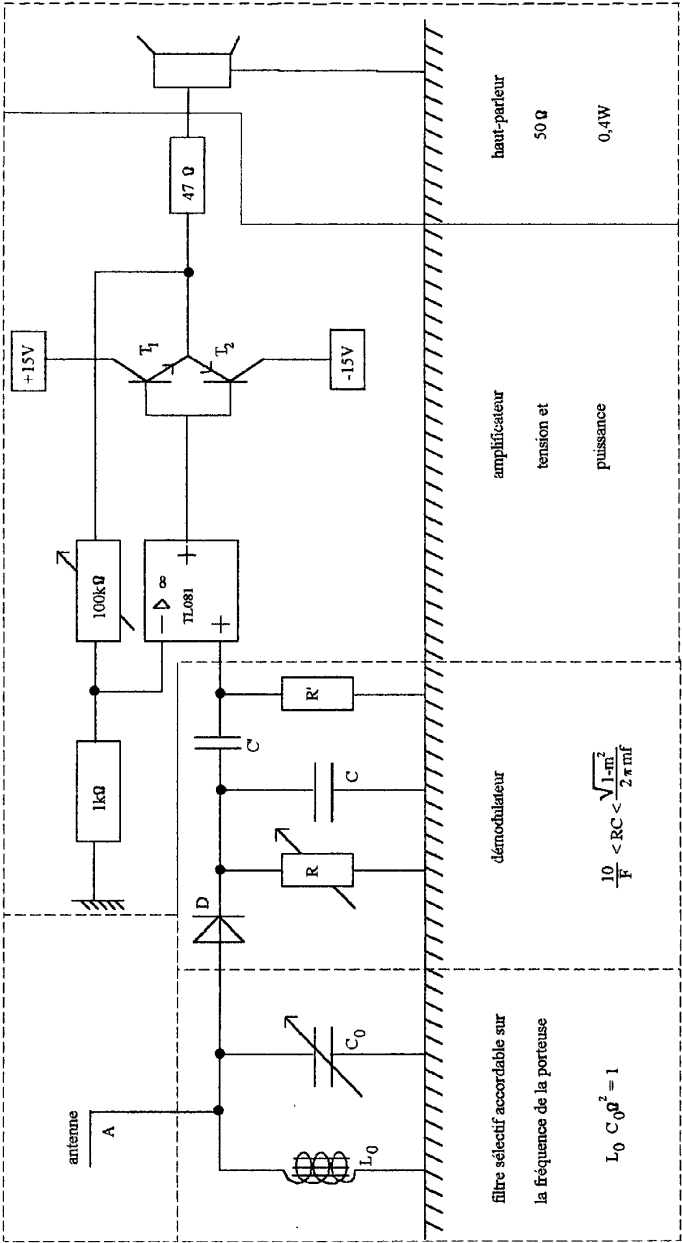


Schéma du montage

- AA119 (pointe de tungstène),
- 1N283, AAY21 ou 49 (pointe or).
- Pour les valeurs de R, C, R' et C' on pourra reprendre celles préconisées dans l'article «*Modulation d'amplitude*» page 319 dans ce numéro ; à savoir, 100 k Ω pour R réglable, 10 nF pour C, 100 k Ω pour R' et 1 μ F pour C'.
- T₁ (type NPN 2N 1711) et T₂ (type PNP 2N 2905) forment un amplificateur (Push Pull) de puissance, sans distorsion de croisement (grâce à l'A.O.).
- L'étage de sortie dépendra du haut-parleur choisi. Ici, pas besoin de condensateur en série sur le haut-parleur car le point de repos du montage est à 0 V (point milieu de + 15 et – 15 V).

Remarque : Les modules 5, 6 et 7 de l'ensemble MAOH distribué par PHYTEX permettent la réception des GO et leur écoute sur un haut-parleur de quelques watts.

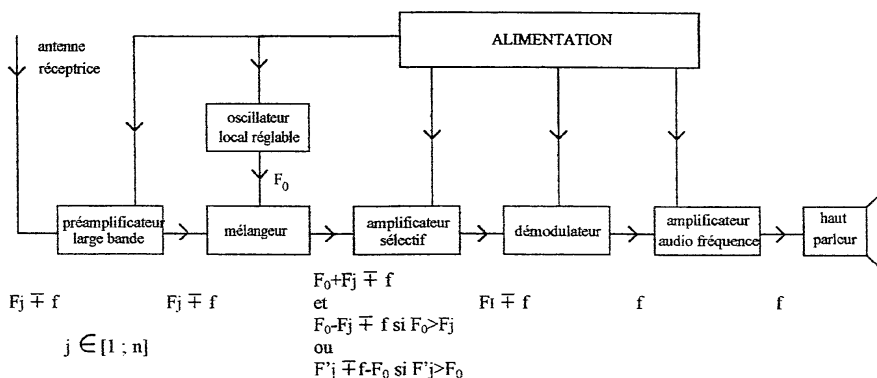
ÉTUDE D'UN POSTE RÉCEPTEUR AM

Inconvénients du radiorécepteur élémentaire décrit précédemment :

- le filtre sélectif situé en tête du montage est insuffisant pour capter les stations émettrices éloignées ou de faible puissance. Il faut donc préamplifier avant de détecter mais il y a risque d'amplifier du bruit et, par conséquent, de perturber la réception ;
- à chaque station émettrice correspond une onde porteuse de fréquence déterminée F et il faut optimiser le réglage du démodulateur en agissant sur RC pour chacune de ces stations.

Le récepteur super-hétérodyne, système inventé en 1917 par Lucien LEVY, élimine les inconvénients précédents.

Schéma fonctionnel :



F_j ou F'_j : fréquence de la porteuse de la $j^{\text{ième}}$ station émettrice captée.

n : nombre totale de stations émettrices captées.

f : fréquence du message modulant.

F_0 : fréquence réglable de l'oscillateur local.

F_1 : fréquence intermédiaire (455 ou bien 480 kHz).

Les porteuses modulées captées par l'antenne sont amplifiées par un préamplificateur couvrant toute une gamme GO ou PO ou OC.

L'ensemble de ces ondes reçues est ensuite multiplié, dans le mélangeur, par le signal provenant de l'oscillateur local situé dans le récepteur et dont on fait varier la fréquence F_0 en agissant sur le bouton de recherche de station.

A la sortie du mélangeur on a donc un spectre de fréquences du type :

$$\{|F_0 - F_j \pm f| ; F_0 + F_j \pm f\}$$

(voir article «*Modulation d'amplitude*» page 319 de ce numéro).

$j \in [1, n]$ numéro d'ordre affecté à une station reçue, n étant le nombre de station reçues.

Cet ensemble de signaux est appliqué à l'entrée d'un amplificateur sélectif calé sur une fréquence fixe appelée fréquence intermédiaire F_1 (455 kHz typiquement pour les GO) de bande passante très étroite (quelques kHz). Seuls seront amplifiés les signaux de fréquence $F_1 \pm f$. Le démodulateur situé en avant de l'ampli sélectif est évidemment

accordé sur cette fréquence intermédiaire $\left(\frac{10}{F_I} < RC < \frac{\sqrt{1-m^2}}{2 \pi m f} \right)$.
(voir article «*Modulation d'amplitude*» page 319 de ce numéro).

Ainsi, en agissant sur le bouton de recherche de station, on règle en fait la fréquence locale F_0 de manière à obtenir $F_0 + F_j$ ou $|F_0 - F_j| = F_I$.

Problème à résoudre :

Avec ce système on peut imaginer trois stations dont les porteuses F_1 , F_2 et F_3 seraient telles que $F_0 + F_1 = F_0 - F_2 = F_3 - F_0 = F_I$. Les ondes émises par les trois stations passeraient à travers le démodulateur et il y aurait un phénomène de brouillage. Il y en a deux de trop.

En faisant en sorte que F_0 reste toujours supérieur à F_I on élimine la première possibilité ($F_0 + F_1 = F_I$) .

La troisième ($F_3 - F_0 = F_I$) est également éliminée en interdisant toute émission dans une bande de fréquence appelée bande image de la bande GO (ou PO ou OC).

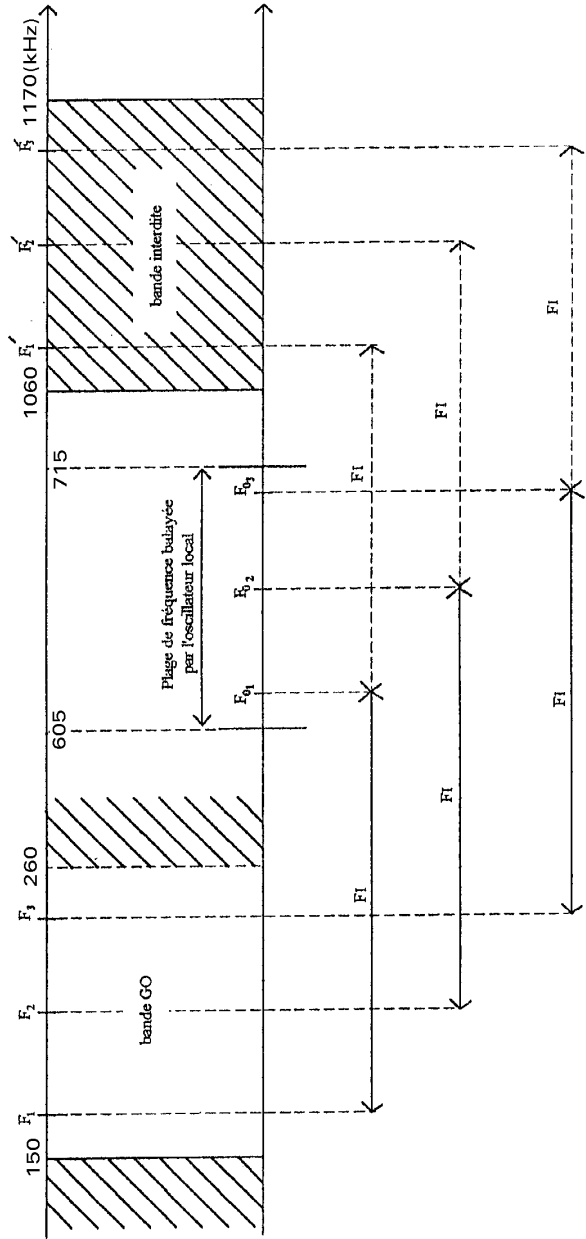
Par exemple la bande GO est comprise entre 150 et 260 kHz ; la fréquence intermédiaire étant égale à 455 kHz, la bande image des GO allant de 1 060 ($150 + 2 \times 455$) à 1 170 kHz ($260 + 2 \times 455$) est interdite à toute émission ; l'oscillateur local doit balayer la bande des fréquences F_0 comprises entre 605 ($150 + 455$) et 715 kHz ($260 + 455$).

Le schéma ci-après illustre ce propos (page suivante).

Proposition de T.P. : analyse d'un poste récepteur AM

• Objectifs :

- comprendre comment fonctionne un récepteur AM,
- observer le signal d'antenne, le signal à l'entrée du démodulateur, le signal après démodulation, le signal à l'entrée du haut-parleur, le signal émis par l'oscillateur local,
- mesurer la fréquence intermédiaire, la fréquence de l'oscillateur local,
- calculer la fréquence d'émission d'une station.



• Matériel :

- un poste récepteur bon marché avec piles,
- un oscilloscope,
- un cordon muni d'une pince crocodile ou, mieux, muni d'une pince gripfil,
- deux cordons à pointe test.

• Protocole expérimental :

- Ouvrir le poste récepteur de manière à ce que le circuit imprimé soit accessible.
- Relier le cordon gripfil, d'un côté à la masse de l'oscilloscope et, de l'autre, à la borne négative de la pile.
- Mettre en marche le récepteur et sélectionner une station.

– Repérer le point où est raccordée la bobine au noyau de ferrite du «cadre» qui sert d'antenne. A l'aide d'un cordon test, observer à l'oscilloscope le signal d'antenne (mélange de porteuses modulées correspondant aux différentes stations émettrices ; on ne peut que constater un brouillage indescriptible sans possibilité de synchronisation ; l'écoute est en général très perturbée par cette opération).

- Repérer la diode de détection.

A l'aide des deux cordons test, observer le signal modulé présent à l'anode de cette diode et le signal détecté présent à la cathode.

Mesurer la fréquence intermédiaire F_I . Comparer à la valeur normalisée 455 kHz.

Changer de station et constater que cette fréquence est constante.

- Rechercher le signal émis par l'oscillateur local (sa fréquence est supérieure à la fréquence intermédiaire).

Mesurer F_0 pour chaque station émettrice.

Calculer la fréquence de la porteuse et la longueur d'onde pour chaque station émettrice captée.

Comparer aux valeurs connues :

- France Inter : 162 kHz,
- Europe 1 : 183 kHz,
- RMC : 218 kHz,
- RTL : 236 kHz.

Mesurer $F_{0\text{MAX}}$ et $F_{0\text{min}}$. En déduire les limites de la bande GO et celles de la bande image interdite.

- Observer la F_I modulée en X et le signal détecté en Y. Évaluer le taux de modulation maximal.
- Observer, en fonction du temps, le signal détecté sur une voie et le signal d'entrée du haut-parleur sur la deuxième voie de l'oscilloscope. Comparer ces deux signaux. Agir sur le bouton de réglage du volume.

Annexe 1

Récepteur AM élémentaire

par P. GAUJAL
B.U.P. n° 709, décembre 1988, p. 1 329

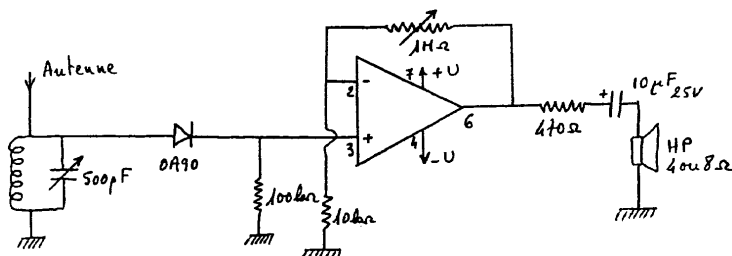
Remarque : Un A.O. TL 081 fera mieux l'affaire.

6. RÉCEPTEUR RADIO

Ce montage permet de capter les émissions d'une station forte et d'avoir une écoute assez confortable sur un petit haut-parleur.

Une antenne risque d'être nécessaire lorsque le champ reçu est faible, on prendra alors un simple fil de quelques mètres de long ou plus simplement on posera le doigt sur le point haut du bobinage.

On distingue un circuit accordé par le condensateur variable, une détection réalisée par une diode OA90 puis un étage amplificateur réalisé autour d'un 741.



La bobine est confectionnée sur un noyau de ferrite de 10 mm de diamètre et de 100 mm de long.

On enroulera 120 spires de fil de cuivre isolé de 0,2 mm environ de diamètre pour recevoir les grandes ondes. Ce fil peut être récupéré sur un vieux transformateur ou sur une bobine de déflexion d'un tube télévision.

La résistance variable de 1 MΩ sert à ajuster le gain de l'amplificateur. On peut essayer des résistances fixes et conserver celle qui donne les meilleurs résultats.

Annexe 2

Récepteur AM élémentaire

par B. FAGOT

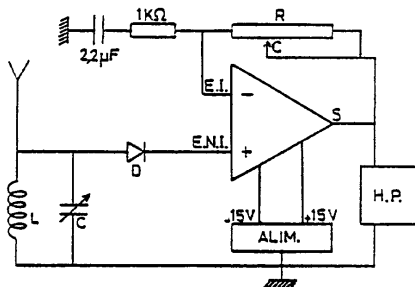
B.U.P. n° 697, octobre 1987, p. 1 023

4. CONSTRUCTION D'UN GÉNÉRATEUR RADIO

Il ne manque plus grand-chose pour aboutir au poste radio (modulation d'amplitude) dans la gamme des ondes moyennes (≈ 1 MHz).

Le signal complexe recueilli entre l'antenne et la prise de terre est traité par le circuit d'accord $L // C$, constitué par une bobine : 80 spires sur support $\varnothing 4$ cm ou 40 spires sur le support ferrite $\varnothing 1$ cm, (attention : la fréquence d'antirésonance de la bobine seule doit être largement supérieure à 1 MHz) et par un condensateur variable à air 0 - 500 pF. On sélectionne l'émetteur en ajustant la valeur de la capacité. On peut observer à l'oscilloscope la porteuse modulée en amplitude en se branchant après le circuit d'accord.

La diode détectrice (diode à pointe au Ge, faible tension de seuil, faible capacité : OA70, OA90, AA119 etc.) en redressant le signal H.F. laisse apparaître la modulation d'amplitude qui transporte l'information B.F., superposée à une composante continue. On peut observer ce signal après la diode et en sortie de l'A.O. après amplification.



Ce montage extrêmement simplifié donne d'excellents résultats si l'on se trouve assez près d'un émetteur et/ou si l'on dispose d'une bonne antenne.

Annexe 3

Réception d'une onde radioélectrique AM

Extraits significatifs de l'article de R. MOREAU
consacré au capteur (antenne et circuit accordé)
B.U.P. n° 617, octobre 1979, p. 13

1. VISUALISATION, À L'OSCILLOGRAPHE, DE L'ONDE MODULÉE PRODUITE PAR UN ÉMETTEUR

1.1 Choix de l'émetteur

En France, les programmes radiodiffusés (France Inter et France Culture) sont retransmis par divers émetteurs couvrant le territoire, de puissances différentes, et de fréquences porteuses différentes.

Citons quelques-uns de ces émetteurs :

- ALLOUIS - France Inter - G.O. -
 $f_0 = 1\,164\text{ kHz} - \lambda = 1\,829\text{ m} - P = 2\,100\text{ kW} ;$
- BORDEAUX Néac - France Culture - P.O. -
 $f_0 = 1\,205\text{ kHz} - \lambda = 249\text{ m} - P = 100\text{ kW} ;$
- LILLE Camphin - France Culture - P.O. -
 $f_0 = 1\,376\text{ kHz} - \lambda = 218\text{ m} - P = 300\text{ kW} ;$
- LIMOGES Nieul - France Culture - P.O. -
 $f_0 = 791\text{ kHz} - \lambda = 379\text{ m} - P = 300\text{ kW} ;$
- MARSEILLE Realtor - France Inter - P.O. -
 $f_0 = 674\text{ kHz} - \lambda = 445\text{ m} - P = 150\text{ kW} ;$
- PARIS Villebon - France Culture - P.O. -
 $f_0 = 863\text{ kHz} - \lambda = 348\text{ m} - P = 300\text{ kW} ;$
- PARIS Romainville - France Inter PARIS -
 $f_0 = 584\text{ kHz} - \lambda = 514\text{ m} - P = 10\text{ kW} ;$
- RENNES Thouric - France Culture - P.O. -
 $f_0 = 710\text{ kHz} - \lambda = 423\text{ m} - P = 300\text{ kW} ;$

- TOULOUSE Muret - France Culture - P.O. -

$$f_0 = 944 \text{ kHz} - \lambda = 318 \text{ m} - P = 300 \text{ kW.}$$

Il faut évidemment que l'oscillographe dont on dispose ait une bande passante supérieure à la fréquence centrale de l'émetteur choisi.

Si l'établissement dans lequel on réalise les expériences est en béton armé, ou s'il possède une charpente métallique et s'il n'est pas pourvu d'antenne de toit, on sera amené à constituer une antenne extérieure, avec un fil de quelques mètres, vertical, qu'on éloignera le plus possible du bâtiment. Il est souhaitable que cette antenne de fortune soit située du côté de l'émetteur.

1.2. Choix et réalisation du capteur

Dans un bâtiment en pierre, le capteur pourra être un simple circuit oscillant série, constitué d'une bobine plate de grandes dimensions associée à un condensateur variable.

Exemple : Bobine constituée de 10 spires de 33 cm de diamètre, réalisée avec du fil émaillé de 5 dixièmes de mm de diamètre, couplée à un condensateur variable à air de capacité réglable entre 7 et 110 pF.

Caractéristiques de la bobine : $L = 92 \text{ } \mu\text{H}$; capacité parasite $C_p = 110 \text{ pF}$; facteur de surtension de l'ordre de 30 ; fréquence d'émission 1 205 kHz. A 30 km d'un émetteur de 100 kW, la tension crête à crête moyenne obtenue est voisine de 80 mV. La formule $L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot R \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)$, où n est le nombre de spires de la bobine, R le

rayon de ces spires, et r le rayon du fil utilisé donne un bon ordre de grandeur (par excès), de l'inductance d'une telle bobine. (Prévoir l'existence d'une capacité parasite importante).

Le plus souvent, les bâtiments sont armés et il faut avoir recours à un système antenne + circuit oscillant parallèle. Comme on peut toujours allonger l'antenne, ce capteur permet de toute manière, d'obtenir de bien meilleurs résultats que le précédent. Notons que pour qu'un récepteur de commerce fonctionne correctement, il suffit que la tension recueillie aux bornes du circuit oscillant d'entrée atteigne (crête à crête) une dizaine de microvolts, tandis qu'on devra, dans la manipulation présentée aux élèves, obtenir au moins 100 mV pour que

la démonstration soit probante. (A 30 km d'un émetteur de 100 kW, une antenne de 1 m permet d'obtenir 150 mV ; sachant que cette tension, grossièrement, varie proportionnellement à la longueur de l'antenne, inversement proportionnellement à la distance à l'émetteur, et comme la racine carrée de la puissance de ce dernier, on peut en déduire une estimation de la hauteur d'antenne nécessaire ; les valeurs données ci-dessus, correspondant à des mesures proportionnelles, ne constituant que des ordres de grandeur).

Le condensateur variable

Choisir, si possible, un condensateur variable d'une capacité maximale de l'ordre de 500 pF (condensateur à air ou à diélectrique plastique). Les condensateurs que l'on peut récupérer sur des récepteurs usagés sont doubles ; leurs capacités ont des valeurs normalisées comme 380 + 380 pF, 280 + 280 pF ou 120 + 280 pF. On peut mettre ces condensateurs en parallèle. On trouve, chez les revendeurs radio, des condensateurs de capacité variable entre 7 et 110 pF, ou des condensateurs du type décrit ci-dessus. Leur prix, suivant leur qualité, varie entre 12 et 45 F. Si le condensateur possède une capacité maximale trop faible, la confection de l'ensemble antenne + bobine est plus délicate.

La bobine

Il n'est pas difficile de confectionner des bobines de bonne qualité. Se munir, pour cela, d'un bâtonnet de ferrite, qu'on peut soit récupérer sur un vieux poste récepteur, soit acheter chez un revendeur radio.

Les bâtonnets les plus courants, et les meilleurs, ont une longueur de 20 cm et un diamètre de 9,7 mm. Il en existe de tailles plus réduites, destinés à des petits récepteurs. Leur coût **est voisin de 10 F***.

Voici quelques exemples de réalisation :

– Réception d'Allouis (164 kHz). Bâtonnet de $\varnothing$ 9,7 mm ; $l = 20$ cm ; $n = 175$ spires de fil de $4/10^e$ de mm de diamètre. C : 20 $\rightarrow$ 560 pF.

Autre réalisation, de facteur de qualité un peu inférieure au précédent : bâtonnet de ferrite de 1 cm $\times$ 10,5 cm ; 200 spires de $2,5/10^e$ mm de diamètre. C : 20 $\rightarrow$ 560 pF.

* NDLR : Prix de l'époque...

– *Réception de Bordeaux Néac* (1 206 kHz). Bâtonnet de $\varnothing$ 9,7 mm ; $l = 20$ cm. 38 spires de fil de $5/10^e$ de mm de diamètre. Condensateur : $20 \rightarrow 560$ pF.

Autre réalisation : bâtonnet de $8 \text{ cm} \times 14 \text{ cm}$; 50 spires de fil de $5/10^e$ mm de diamètre. Cette bobine, de caractéristiques $L = 123 \mu\text{H}$; $C_p = 25 \text{ pF}$, fonctionne avec une antenne de petites dimensions, elle est couplée à un condensateur de capacité variable entre 7 et 110 pF.

– *Réception de Paris F.I.P.* (548 kHz). Bâtonnet de $9,7 \text{ mm} \times 20 \text{ cm}$; $n = 50$ spires de fil de $5/10^e$ de mm de diamètre. Condensateur : $20 \rightarrow 560$ pF.

Quelques remarques

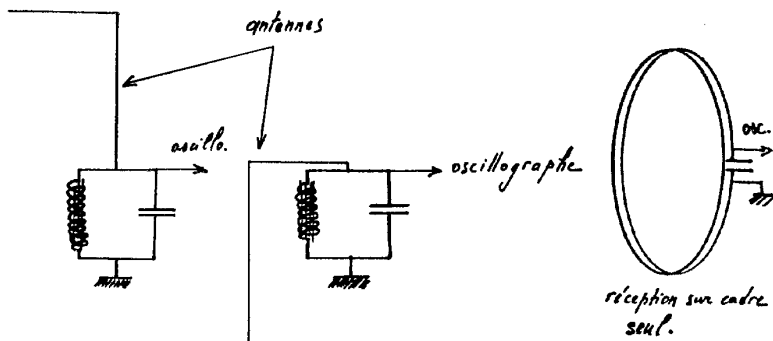
- Le diamètre du fil constituant le bobinage n'influe que peu sur la valeur de l'inductance de la bobine ; c'est par son logarithme qu'il intervient ; on peut récupérer de grandes quantités de fil de $3 / 10^e$ sur les bobines déflectrices d'un vieux tube de télévision.

- Il existe, bien qu'il est assez difficile de les trouver, des bobines blindées de bonne qualité dans le commerce. Il faut, pour capter Allouis, par exemple, une bobine de 2,7 mH, et pour capter Bordeaux Néac, une bobine d'inductance $47 \mu\text{H}$, associées avec un condensateur variable $20 \rightarrow 56 \text{ pF}$. (D'autres valeurs sont parfaitement acceptables pourvu qu'on obtienne la résonance). Cependant, les bobinages réalisés sur bâtonnets de ferrite, possédant même sans antenne un certain pouvoir de captation, permettent, si l'on en a le désir, de mesurer l'influence de l'antenne. Ils sont de plus d'excellente qualité. On peut faire varier leur inductance propre en déplaçant le bobinage sur un des côtés du bâtonnet de ferrite. (Le coefficient L diminue, mais le pouvoir de captation de la bobine seule augmente. Dans les récepteurs ordinaires, qui fonctionnent sans antenne avec un bobinage sur ferrite, c'est cette disposition dissymétrique qui est adoptée pour chacun des bobinages P.O. et G.O.).

L'antenne

Du fil ordinaire, souple ou rigide, mono ou multibrins, convient bien. Choisir de préférence du fil épais. En basse fréquence (Grandes Ondes), tout au moins, on a intérêt à donner à l'antenne une forme coudée.

Cela augmente la capacité ramenée de l'antenne et donc la tension utilisable aux bornes du circuit oscillant (voir plus loin).



Il faut savoir que plus l'antenne est longue, plus elle ramène une capacité qui s'ajoute à celle du condensateur variable.

De 6 pF pour une antenne de 1 m, simple, verticale, cette capacité est de l'ordre de 100 pF pour un fil d'antenne, coudé, de 5 m de longueur. Elle va jusqu'à 300 pF pour une antenne de toit reliée au circuit oscillant par un fil d'une quinzaine de mètres.

Une antenne de gouttière d'automobile, avec son câble coaxial, très efficace, ramène environ 20 pF.

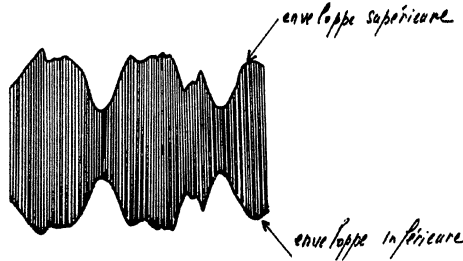
Il faut également prendre en compte, dans le calcul de la capacité totale du circuit oscillant, outre la capacité parasite de la bobine de 25 à 60 pF qu'on diminue en répartissant le bobinage sur toute la longueur du bâtonnet de ferrite, celle de l'antenne, et celle de l'oscillographe (de 15 pF à 35 pF) ainsi que celle de la ligne qui relie le circuit oscillant à l'oscillographe (25 pF pour un câble coaxial de 50 m de long, quelques pF pour deux fils ordinaires de 50 m). Toutes ces capacités, en parallèle, s'ajoutent.

1.3. Observations à l'oscillographe

Le signal obtenu n'étant pas périodique, on peut, pour observer sans fatigue visuelle l'onde modulée en amplitude, synchroniser la base de temps de l'appareil sur le réseau (surtout si cette synchronisation peut être réalisée automatiquement).

On observe une onde modulée en amplitude. Si c'est une émission de musique, qu'on a captée, on voit très bien qu'à des notes plus aiguës, correspond une fréquence plus importante du signal modulant. On voit également que lorsque le volume sonore augmente, la profondeur de

modulation augmente (pour faire ces observations, il faut disposer d'un poste récepteur du commerce ou associer au capteur précédent les éléments qui permettent d'obtenir un récepteur. On identifie sans ambiguïté la station responsable de l'émission captée en comparant les informations visuelle et auditive simultanées).



Onde modulée en amplitude.

En augmentant la vitesse de balayage, et en synchronisant sur le signal lui-même, on identifie parfaitement la porteuse sinusoïdale et on peut procéder à une bonne estimation de sa fréquence. Comme le poste récepteur du commerce est généralement gradué en longueurs d'ondes, on peut relier λ et f par l'expression $\lambda = c/f$.

Il est clair que la porteuse subsiste, non modulée, même pendant les temps morts de l'émission, les silences. On en déduit que le signal utile est constitué par l'enveloppe de la porteuse. C'est l'amplitude de ses variations, ainsi que leur fréquence qui constituent l'information transmise. Puisque l'enveloppe supérieure et l'enveloppe inférieure sont symétriques, il suffit d'isoler l'une d'entre elles pour récupérer la totalité du signal.

On isolera par exemple l'enveloppe supérieure ; ce faisant, on réalise une démodulation d'amplitude, et c'est le procédé le plus simple - mais non le plus performant - que nous allons mettre en œuvre pour cela.

2. COMMENT FONCTIONNE UN RÉCEPTEUR RADIO DU COMMERCE ?

Au lieu de détecter le signal modulant à partir de la tension recueillie sur le circuit oscillant, et de n'amplifier que ce signal basse fréquence, comme nous l'avons fait, on amplifie directement le signal HF $v_1(t)$.

En réalité, dans le montage superhétérodyne qui est universellement adopté pour les récepteurs, le premier étage est celui qui assure le changement de fréquence : il reçoit la tension $v_1(t)$ mais aussi un signal sinusoïdal, élaboré dans le récepteur par un oscillateur local. Le battement de ces deux signaux donne une tension de fréquence intermédiaire fixe. C'est ce dernier signal qui est amplifié, puis détecté, etc.

Les fréquences intermédiaires normalisées en France sont 455 et 480 kHz. Supposons qu'un récepteur de fréquence intermédiaire 455 kHz soit accordé sur l'émetteur de Paris Romainville (584 kHz).

Alors l'oscillateur local de ce récepteur délivre un signal sinusoïdal de $584 + 455 = 1\,039$ kHz ; si nous changeons de gamme et que nous accordions le récepteur sur Allouis (164 kHz), l'oscillateur local aura pour nouvelle fréquence : $164 + 455 = 619$ kHz.

(Si les condensateurs variables à air que l'on trouve dans les récepteurs sont doubles, c'est que l'un d'eux règle la fréquence d'accord du circuit oscillant d'entrée, tandis que l'autre, solidaire du premier, participe à la définition de la fréquence de l'oscillateur local, de manière à ce que la différence $f_{\text{loc}} - f_{\text{accord}} = 455$ kHz ou 480 kHz).

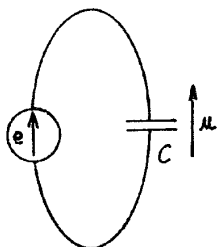
On peut parfaitement, avec un simple circuit oscillant décrit précédemment, sans antenne, placé près du récepteur, capter le signal émis par l'oscillateur local du récepteur. On constatera que son amplitude est fixe et que sa fréquence varie quand on modifie la fréquence d'accord du récepteur, on pourra même vérifier la relation ci-dessus ($f_{\text{local}} - f_{\text{accord}} = c^{\text{ste}}$).

3. QUELQUES EXPLICATIONS SUR LE FONCTIONNEMENT DU CAPTEUR D'ENTRÉE

3.1. Le capteur est un cadre de grandes dimensions, associé à un condensateur

Si le cadre a pour surface S , et si le champ magnétique B de l'onde captée est normal au cadre et de la forme $B(t) = B_0 \sin \omega t$, alors la force électromotrice induite dans le cadre, s'écrit, avec des conventions convenablement choisies :

$$e(t) = B_0 S \omega \cos \omega t$$



Si $Q_1 = \frac{\mathcal{E}\omega}{r}$ est le facteur de qualité du circuit oscillant série obtenu, il est facile de montrer que la tension $u(t)$ existant aux bornes du condensateur est de la forme :

$$u(t) = Q_1 \cdot B_0 S \omega \sin \omega t$$

Ici, seule l'amplitude U nous intéresse :

$$U = Q_1 \cdot B_0 S \omega$$

3.2. Le capteur est un circuit oscillant de petites dimensions, couplé à une antenne

Nous négligerons le pouvoir de captation du circuit oscillant lui-même (c'est pourtant le seul qui soit utilisé dans un récepteur du commerce ordinaire), pour ne nous intéresser qu'au couplage de l'antenne et du circuit oscillant. Pour les gammes P.O. (de 1 620 à 520 kHz ; soit $185 \text{ m} < \lambda < 577 \text{ m}$) et G.O. (de 270 à 150 kHz ; soit $1\,111 \text{ m} < \lambda < 2\,000 \text{ m}$), les longueurs d'antenne réceptrice qu'on utilisera sont très petites devant les longueurs d'onde des signaux captés. Dans ces conditions, l'impédance d'une antenne est telle que l'on peut négliger sa résistance de rayonnement devant sa réactance : on ne tient compte que de la capacité ramenée de l'antenne γ .

Si E est l'amplitude du champ électrique de l'onde incidente ($\vec{E}$ est supposé colinéaire à la longueur utile l de l'antenne), la force électromotrice induite dans l'antenne a pour amplitude $\varepsilon = E \cdot l$.

L'antenne, en ce qui concerne le circuit oscillant, est donc équivalente au circuit ci-après :

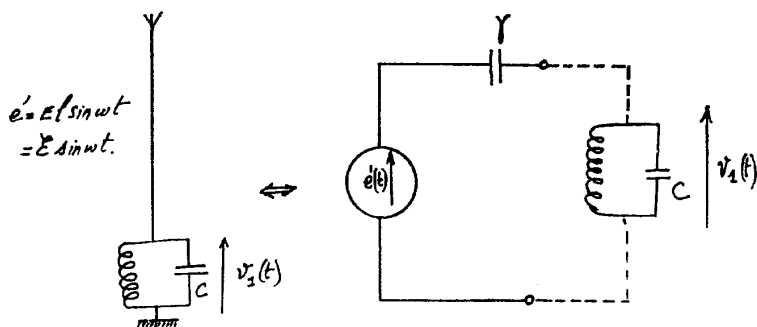


Schéma de Thévenin.

On peut encore, passant aux notations complexes, appliquer le théorème de Thévenin-Norton :

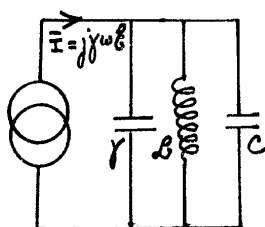


Schéma de Norton.

On voit ainsi, sur le schéma de Norton, que la présence d'une antenne modifie l'accord du circuit oscillant initial (on peut mesurer γ en accordant le circuit muni d'une antenne sur un poste émetteur donné, puis en enlevant l'antenne, et en plaçant un condensateur étalonné en parallèle sur C , on retrouve l'accord du circuit oscillant seul. La capacité ajoutée est égale à celle de l'antenne).

Sur le schéma de Thévenin, on conçoit que si l'impédance $\frac{1}{\gamma\omega}$ de la capacité ramenée de l'antenne est faible devant la résistance équivalente du circuit bouchon lorsqu'il est accordé ($R_{eq} = Q\mathcal{E}\omega$), la totalité de la f.é.m. $e'(t)$ se retrouve en $v_1(t)$.

Donnons quelques valeurs numériques :

Une antenne de gouttière d'automobile a une capacité ramenée γ , de l'ordre de 20 pF. A 1 250 kHz, l'impédance $\frac{1}{\gamma\omega}$ vaut 6 k Ω .

La bobine utilisée pour capter la station correspondante a une inductance voisine de 100 μ H, soit $\mathcal{L} = 10^{-4}$ H ; $\mathcal{L}\omega \approx 7,60 \Omega$.

Le facteur de qualité d'une telle bobine, utilisant un cadre de ferrite est de l'ordre de 100 ; donc $R_{eq} = Q\mathcal{L}\omega \approx 76 \text{ k}\Omega$

On a bien : $V_1 \approx \mathcal{E} = El$

Comparons les tensions obtenues à l'aide d'un cadre d'une part ($U = Q_1 B_0 S\omega$), à l'aide d'une antenne couplée à un circuit oscillant d'autre part : ($V_1 = El$).

On sait que pour une onde électromagnétique plane, le rapport des amplitudes des champs électrique et magnétique est tel que $E = cB$.

Soit :

$$\frac{V_1}{U} = \frac{El}{Q_1 B S\omega} = \frac{cl}{Q_1 S\omega}$$

Le facteur de qualité Q_1 est de l'ordre de quarante (la bobine de grandes dimensions utilise beaucoup plus de fil qu'une bobine montée sur ferrite).

Pour $S = 1 \text{ m}^2$, $f = 1\,205 \text{ kHz}$, $l = 0,8 \text{ m}$, on trouve $\frac{V}{U} = 1,8$ c'est-à-dire que l'avantage revient déjà à l'antenne.

Or, on peut toujours augmenter la longueur l de celle-ci et augmenter sa capacité ramenée γ en la coudant. Ce type de capteur est donc, pour nous, le plus intéressant.

Les relations précédentes permettent encore d'estimer très convenablement l'amplitude du champ électrique E de l'onde reçue. (Pour qu'un récepteur de commerce fonctionne, il faut que celui-ci soit de l'ordre d'une dizaine de microvolts par mètre). A 30 km d'un émetteur de 100 kW, nous avons trouvé $E \approx 75 \text{ mV/m}$, ce qui est tout à fait compatible avec le théorème de Poynting et le diagramme de rayonnement de l'antenne émettrice.